

В. М. Никифоров

**ТЕХНОЛОГИЯ
МЕТАЛЛОВ
И КОНСТРУКЦИОННЫЕ
МАТЕРИАЛЫ**

В. М. Никифоров

ТЕХНОЛОГИЯ МЕТАЛЛОВ И КОНСТРУКЦИОННЫЕ МАТЕРИАЛЫ

ИЗДАНИЕ ШЕСТОЕ,
ПЕРЕРАБОТАННОЕ И ДОПОЛНЕННОЕ

Допущено Министерством высшего
и среднего специального образования СССР
в качестве учебника для учащихся средних
специальных учебных заведений



МОСКВА «ВЫСШАЯ ШКОЛА» 1980

ББК 34
И62
УДК 621.7

Рецензенты:

А. Ф. Вязов (доцент
кафедры технологии металлов и конструкционных материалов
МВТУ им. Баумана);
Е. С. Марциновская (преподаватель
Московского приборостроительного техникума);

Никифоров В. М.

И62 **Технология металлов и конструкционные материалы:**
Учебник для средних специальных учебных заведений. —
6-е изд., перераб. и доп. — М.: Высш. школа, 1980. —
360 с., ил.

В пер.: 85 к.

В книге рассмотрены вопросы производства черных и цветных металлов и способы обработки металлов и сплавов.

По сравнению с предыдущим изданием написаны новые параграфы о производстве стали, спецметаллургии, металлургии магния и титана. Расширен раздел «Основы металловедения». Заново даны сведения о реальных кристаллических решетках, особенностях термической обработки легированных сталей; переработан и дополнен материал по допускам и посадкам, сварке, металлорежущим станкам и инструментам.

Предназначается для учащихся машиностроительных специальностей техникумов.

И $\frac{31100-434}{001(01)-80}$ БЗ-4-12-80 2605000000

6ПЗ
ББК 34

Викентий Маркианович Никифоров
ТЕХНОЛОГИЯ МЕТАЛЛОВ
И КОНСТРУКЦИОННЫЕ МАТЕРИАЛЫ

Зав. редакцией литературы по общетехническим дисциплинам К. И. Аношина. Редактор М. А. Алексеева. Младший редактор Т. А. Дорофеева. Переплет художника В. З. Казакевича. Художественный редактор Н. К. Гуторов. Технический редактор Р. С. Родичева. Корректор В. В. Кожуткина.

ИБ № 2117

Изд. № ОТ-302 Сдано в набор 26.05.80. Подп. в печать 21.10.80. Т-15075. Формат 60×90 $\frac{1}{16}$. Бум. диаграммная № 1. Гарнитура обыкновенно-новая. Печать высокая. Объем 22,5 усл. печ. л. 24,26 уч.-изд. л. Тираж 225 000 экз. Зак. № 1340. Цена 85 коп.

Издательство «Высшая школа», Москва, К-51, Неглинная ул., д. 29/14

Ордена Октябрьской Революции, ордена Трудового Красного Знамени Ленинградское производственно-техническое объединение «Печатный Двор» имени А. М. Горького Союзполиграфпрома при Государственном комитете СССР по делам издательства, полиграфии и книжной торговли. 197136, Ленинград, П-136, Чкаловский просп., 15.

© Издательство «Высшая школа», 1980

ПРЕДИСЛОВИЕ

Настоящий учебник соответствует программе курса «Технология металлов и конструкционные материалы» для всех технических специальностей средних специальных учебных заведений, кроме металлургических, химических и машиностроительных на базе 8 и 10 классов средней школы (объемом 90—110 учебных часов).

Учебник состоит из введения, четырех разделов и приложения.

Во введении даны краткие сведения о развитии черной металлургии, цветной металлургии, машиностроения; приведены данные о системе стандартизации в СССР и системе управления качеством продукции.

Первый раздел содержит основные сведения о производстве черных и цветных металлов в современной металлургической промышленности.

Во втором разделе приведены сведения о структуре металлов и сплавов, их свойствах, способах испытания свойств, типах сплавов.

В третьем разделе освещены способы обработки металлов и сплавов.

По материалу четвертого раздела учащиеся познакомятся с химией и технологией синтетических и искусственных полимеров, их видами и областями их применения.

В приложении даны сведения о единицах физических величин, встречающиеся в учебнике. В СССР введен в действие стандарт СЭВ СТ СЭВ 1052—78 «Метрология. Единицы физических величин». По этому стандарту подлежат обязательному применению единицы Международной системы единиц СИ. Принятие основные единицы СИ и производные, образованные от них, обуславливает коренное упрощение единиц измерений, их когерентность (согласованность и унификацию). Наравне с единицами СИ СТ СЭВ 1052—78 допускается применение некоторых единиц, не входящих в СИ, но нашедших широкое применение на практике (конкретнее см. в приложении).

Курс «Технология металлов и конструкционные материалы» вместе с другими общетехническими дисциплинами — машиностроительным черчением, начертательной геометрией, сопротивлением материалов, теоретической механикой, теорией механизмов и машин, курсом деталей машин — дает учащимся всех технических специальностей необходимую общинженерную подготовку, обеспечивает получение прочного фундамента знаний, необходимых для практической работы на производстве, в научно-исследовательских и проектных организациях.

В ряду названных общетехнических дисциплин учебными планами техникумов курс «Технология металлов и конструкционные материалы» изучается одним из первых, чтобы на его базе обеспечить усвоение других общетехнических и специальных курсов.

Автор выражает глубокую благодарность рецензентам за их полезные замечания.

Все замечания по улучшению учебника просьба направлять в адрес издательства, они будут с благодарностью приняты.

ВВЕДЕНИЕ

Крупные успехи в развитии народного хозяйства СССР являются результатом последовательного осуществления экономической политики Коммунистической партии, направленной прежде всего на всемерное повышение общественного производства.

Эти успехи определяются главным образом темпами научно-технического прогресса. Современная эпоха характеризуется великими научными открытиями и изобретениями. Научно-техническая революция является огромной силой и ею необходимо по-настоящему овладеть.

В черной металлургии техническое перевооружение будет осуществляться путем внедрения прогрессивных процессов — кислородно-конвертерного и электроплавильного, сооружения доменных

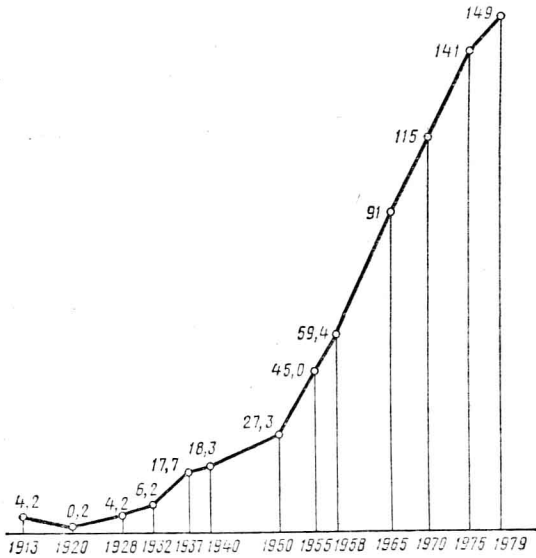


Рис. 1

печей полезным объемом 5 тыс. кубических метров, конвертеров емкостью до 400 тонн, возрастет производство качественных сталей и наиболее экономичных видов проката. На рис. 1 приведена диаграмма роста производства стали в СССР.

В цветной металлургии предусмотрен дальнейший рост производства алюминия, меди, никеля, титана и других металлов и сплавов.

За десятую пятилетку более чем в два раза увеличится выпуск наиболее прогрессивных видов полимерных материалов. Организуется

производство пластмасс с заданным комплексом свойств: способных длительное время работать при высоких температурах, теплоизоляционных, трудностгораемых и др.

Машиностроению принадлежит первостепенная роль в повышении технического уровня и улучшения качественных показателей всех отраслей материального производства и прежде всего производства орудий производства, которое возрастет за пятилетие примерно в 1,6 раза. В десятой пятилетке создается *Единая система управления качеством*. Управление качеством определяется установлением, обеспечением и поддержанием нужного уровня качества продукции, что в свою очередь направляется системой стандартизации.

Система стандартизации. В СССР создана и введена в действие с 1970 г. Государственная система стандартизации (ГСС), обязательная для всех предприятий и организаций народного хозяйства страны. ГСС устанавливает цели и задачи стандартизации, порядок проведения работ по стандартизации и разработки стандартов в отраслях народного хозяйства, их утверждения, внедрения и контроля за соблюдением. Руководство ГСС осуществляется Государственным комитетом стандартов Совета Министров СССР — Госстандартом СССР. В систему Госстандарта входят научно-исследовательские институты, органы стандартизации в министерствах, на предприятиях, в учреждениях.

ГСС охватывает следующие категории стандартов:

государственные стандарты — ГОСТ,
отраслевые стандарты — ОСТ,
республиканские стандарты — РСТ,
стандарты предприятий — СТП,
стандарты СЭВ — СТ СЭВ.

В названиях стандартов отражена сфера их действия.

Стандарты ОСТ, РСТ, СТП разрабатываются органами стандартизации соответственно министерств (ведомств), союзных республик и предприятий и обязательны для руководимых ими подразделений. Разработка этих стандартов производится на основе ГОСТов применительно к данной отрасли или на те виды продукции, которые не предусмотрены ГОСТами.

Стандарты СЭВ распространяются на страны СЭВ, они служат целям развития международного разделения труда, специализации и кооперирования производства.

При разработке стандартов СЭВ и ГОСТ учитываются рекомендации международной организации по стандартизации (ИСО), членами которой являются свыше 70 стран мира; это способствует развитию торговли и сотрудничества в различных областях науки и техники между странами мира.

Стандарты регламентируют свойства предметов и средств труда, контрольных и измерительных приборов. Важнейшими характеристиками и показателями в этих стандартах являются размеры, материал, допустимое количество примесей, качество поверхности, метрологические характеристики приборов и др.

Стандартами устанавливаются:

способы изготовления изделий, применяемое технологическое оборудование, режимы его работы, используемый измерительный инструмент;

методы испытания и контроля, проверки размеров изделий, их физических и химических свойств;

методы определения состава материала, качества поверхности.

Разработаны стандарты на терминологию, систему единиц, обозначения. Это облегчает взаимопонимание, разработку новых проблем, позволяет рационально организовать работу.

В данном учебнике единицы физических величин приведены в соответствии со СТ СЭВ 1052—78. Для справок в приложении (см. с. 355) даны необходимые сведения о единицах СИ, их производных, встречающихся в учебнике, а также о множителях и приставках для образования десятичных кратных и дольных единиц.

Управление качеством продукции. Уровень качества продукции устанавливается при разработке технического задания и конструировании в основных показателях, определяющих работоспособность, надежность, срок службы изделия, срок гарантии и нормального износа, числовых величинах основных показателей.

Обеспечение уровня качества при производстве изделия определяется точным выполнением требований чертежей и технических условий, соблюдением технологии, использованием соответствующего оборудования и оснастки.

Поддержание уровня качества изделий обеспечивается их эксплуатацией в установленных режимах с соблюдением норм ухода.

Аттестация качества продукции. Вся промышленная продукция подвергается аттестации Государственными аттестационными комиссиями, при этом продукция аттестуется по трем категориям: высшей, первой и второй. К **в ы с ш е й** категории качества относят продукцию, соответствующую лучшим отечественным и мировым образцам или превосходящую их, имеющую повышенные стабильные показатели качества, учитывающие требования международных стандартов и обеспечивающую экономическую эффективность. К **п е р в о й** категории качества относят продукцию, технико-экономические показатели которой соответствуют требованиям действующих стандартов. К **в т о р о й** категории относят морально устаревшую продукцию, подлежащую модернизации или снятию с производства.

Изделиям, аттестованным по высшей категории, присваивается **г о с у д а р с т в е н н ы й** **З н а к** **к а ч е с т в а**; для таких изделий разрабатываются специальные государственные стандарты, в которых закрепляется высший технический уровень качества.

Высшая и первая категория качества присваиваются изделию на срок 2—3 года, затем изделие аттестуется вновь.

«Технология металлов и конструкционные материалы» — комплексная дисциплина о способах получения, переработки и обработки весьма широкого круга конструкционных материалов, применяемых во всех отраслях народного хозяйства.

Понятие «Технология металлов» включает понятия «металлургия» и «механическая обработка металлов».

К металлургии относятся производственные процессы обработки добытых руд, процессы получения металлов, очистки металлов от нежелательных примесей (рафинирование), производства металлических сплавов, порошковая металлургия, термическая (тепловая) и химико-термическая обработка металлов и сплавов, обработка металлов давлением, литьем, сварка и пайка металлов, покрытие металла слоем другого металла и диффузионное внедрение в поверхностный слой металлических деталей различных (металлических и неметаллических) веществ.

Весь приведенный комплекс металлургических производств по мере своего развития одновременно претерпевал значительную внутреннюю дифференциацию и в конце XIX в. и особенно в XX в. многие из названных металлургических процессов стали выполняться не в собственно металлургической промышленности, а вошли в состав различных отраслей машиностроения и строительной индустрии. Современные машиностроительные заводы могут иметь сталеплавильные, литейные, прокатные, кузнечные, штамповочные, сварочные, термические, гальванические цехи или участки в составе механических цехов. Однако эти изменения, связанные с рациональной организацией современной промышленности, не повлияли на существо металлургических процессов и состава понятия «металлургия», приведенного выше; а на крупных машиностроительных заводах есть отдел главного металлурга.

Развитие металлургического производства, постепенное и всевозрастающее повышение требований к качеству металлов и сплавов предопределило возникновение во второй половине XIX в. и дальнейшее широкое развитие металлостроения — науки о металлах и сплавах. Металловедение основывается главным образом на физике, кристаллографии, химии, физической химии, теории упругости, теории пластичности и в свою очередь является теоретической базой для ряда технологических процессов: производства металлов и сплавов, их термической обработки, литейного дела, обработки металлов давлением, резанием, сваркой и др.

К механической обработке относят обработку со снятием стружки режущими инструментами (резание металлов резцами, сверлами, фрезами и др.) и без режущих инструментов (электронская, анодно-механическая, ультразвуковая обработка и др.). Такая обработка металлов и неметаллических материалов производится на металлообрабатывающих станках в механических, инструментальных, ремонтных цехах машиностроительных заводов, в отделениях сельхозтехники, в экспериментальных, учебных и передвижных мастерских. В механической обработке выделяют технологические процессы и науку о резании металлов и режущих инструментах, металлообрабатывающих станках, их приводах, управлении, автоматизации и работах, выполняемых на них.

Под конструкционными материалами понимаются все другие материалы (помимо металлов), т. е. пластические массы, волокна, резина и эбонит, а также древесные материалы, клеи, смазочные масла, лаки и краски.

Промышленное производство и строительство немыслимо без допусков размеров, а при производстве машин и механизмов также принципов взаимозаменяемости, качества поверхностного слоя, обеспечения установленных посадок сопрягаемых деталей.

Технические измерения являются сопутствующими при всех видах производства и обработки конструкционных материалов, а также при сборке машин, механизмов и строительных конструкций.

ПРОИЗВОДСТВО ЧЕРНЫХ И ЦВЕТНЫХ МЕТАЛЛОВ

К металлам относят большинство химических элементов периодической системы Менделеева. В твердом и жидком состоянии они отличаются от элементов — неметаллов — характерными металлическими межатомными связями с обобщенными и подвижными электронами. Такие связи обуславливают электро- и теплопроводность металлов, их прочность; металлам свойственны также пластичность и ковкость, непрозрачность и металлический блеск.

Некоторые металлы находят широкое применение в технически чистом виде, т. е. с малым содержанием примесей, например железо, медь и алюминий в электро- и радиотехнике. Другие металлы, например тантал, ниобий, гафний, цирконий, используют в сверх чистом виде, т. е. с миллионными долями процента всех примесей, в приборостроении и в атомной технике.

Несравненно шире и разнообразнее применение металлических сплавов (см. с. 80).

Важнейшим промышленным металлом является железо (Fe), которое в чистом виде и в сплавах с углеродом (C) и другими элементами относят к группе черных металлов. К сплавам этой группы относят сталь, чугун и ферросплавы (ферро — от латинского названия железа «феррум»). Из общего количества выплавляемых во всем мире металлов около 94 % приходится на черные. Они представляют главный конструкционный материал в машиностроении и один из главных в строительстве. Поэтому технический уровень народного хозяйства страны прежде всего характеризуется количеством выплавляемых черных металлов.

Все остальные металлы и их сплавы относятся к группе цветных металлов; их принято делить на легкие (плотность до 3 г/см^3) и тяжелые. Различают также благородные и редкие металлы.

Из цветных металлов важное промышленное значение имеют медь Cu, алюминий Al, магний Mg, свинец Pb, цинк Zn, олово Sn, титан Ti. Но стоимость цветных металлов по сравнению с черными очень высока, поэтому во всех случаях, когда это допустимо, их стараются заменить черными металлами или пластмассами.

Кроме перечисленных промышленное применение имеют также следующие цветные металлы: хром Cr, никель Ni, марганец Mn, молибден Mo, кобальт Co, ванадий V, вольфрам W, цирконий Zr, тантал Ta, ниобий Nb, рений Re, индий In и полупроводники — германий Ge, селен Se, теллур Te.

Металлургическая промышленность (металлургия) охватывает подготовку и обогащение добытых руд, процессы получения металлов из подготовленного сырья, очистку их (рафинирование), производство металлических сплавов, прокатку.

В соответствии с подразделением металлов и исходных руд различают металлургию черных и цветных металлов. В зависимости от вида энергии, используемой при основных процессах, различают пирометаллургию и гидрометаллургию.

В **пирометаллургии** металлы и сплавы получают и рафинируют при сжигании топлива, экзотермических реакциях, электроплавке, электролизе расплавов, дистилляции (т. е. восстановлении металлов в газообразном состоянии с последующей конденсацией), термической диссоциацией из летучих соединений.

В **гидрометаллургии** металлы получают из руд путем выщелачивания и выделения из растворов без нагрева до высокой температуры.

Наиболее распространенной плавкой в пирометаллургии является плавка, основанная на сжигании топлива в печах. Исходные материалы для плавки, взятые в рассчитанном весовом соотношении, называют **шихтой**. В состав шихты входят: топливо, руды (чаще рудные концентраты, так или иначе подготовленные к плавке), металлы (в основном в виде лома), флюсы, шлаки предыдущих плавок и другие оборотные материалы. При плавке составные части шихты реагируют между собой, а также с газами и огнеупорами печи.

Прежде чем изучать способы плавки, ознакомимся с применяемыми в металлургии исходными материалами.

Руды. **Рудой** называют природное минеральное сырье, содержащее металлы (или их соединения) в количестве и в виде, пригодном для промышленного использования. Руда представляет собой совокупность минералов. Минералы, содержащие нужный металл, называют **рудными**, а остальные — **пустой породой**.

Топливо. В состав топлива входят: органическая масса, состоящая из свободного углерода, углеводородов, соединений серы, кислорода, азота; различные минеральные соединения, переходящие при сгорании в золу (SiO_2 , Al_2O_3 , CaO и др.), и влага. Углерод, водород и сера, входящие в органическую массу, являются горючими составляющими, кислород же, содержащийся в ней, реагирует при сгорании с водородом и углеродом, в результате чего образуется водяной пар и углекислый газ, которые смешиваются с такими же и прочими газами от горения.

По признаку агрегатного состояния различают **твердое**, **жидкое** и **газообразное** топливо. Классификация топлива приведена в табл. 1.

Топливо, сжигаемое без предварительной обработки, называют **естественным**, а получаемое из естественного путем тепловой (или химической) переработки — **искусственным**. К искусственному топливу относятся также брикеты, полученные прессованием мелких частиц естественного топлива, и пылевидное топливо, получаемое при размоле естественного топлива.

При выплавке металлов и их обработке наибольшее значение имеют каменный уголь, каменноугольный кокс, а также мазут, природный, доменный и коксовый газы, а также попутный газ при добыче нефти и газ от ее переработки. Дрова и древесный уголь теперь употребляют главным образом как вспомогательное топливо.

Таблица 1

Виды топлива, применяемого в промышленности

Агрегатное состояние	Естественное топливо	Искусственное топливо
Твердое	Дрова, горючие сланцы, торф, бурый уголь, каменный уголь, антрацит	Древесный уголь, торфяной кокс, каменноугольный кокс, термоантрацит, брикеты из мелочи бурого, каменного угля и торфа, пылевидное топливо и др.
Жидкое	Нефть	Продукты переработки нефти (бензин, керосин, лигроиин, мазут), горючих сланцев, бурого и каменного угля (бензин, бензол, толуол)
Газообразное	Природный газ	Генераторный газ; коксовый газ, доменный (колошниковый) газ, газы крекинга и др.

Основными характеристиками топлива являются: удельная теплота сгорания, измеряемая в кДж/кг для твердого и жидкого топлива и объемная теплота сгорания кДж/м³ для газообразного топлива, температура воспламенения и горения, прочность, пористость, спекаемость, зольность, количество вредных примесей.

Рассмотрим некоторые виды топлива.

Каменный уголь является главным видом естественного топлива. Он содержит 75 % углерода и более, 3—12 % влаги, 2—4 % серы (главным образом, в составе серного колчедана) и 12—20 % негорючих минералов, переходящих при горении в золу.

Удельная теплота сгорания каменных углей составляет 22 000—30 000 кДж/кг. Уголь сжигают в топках нагревательных печей, а также в горнах, газогенераторах и др. Кроме того, каменный уголь служит сырьем для получения кокса, искусственного жидкого топлива и др.

Каменноугольный кокс получается в результате тепловой обработки коксующихся углей при температуре 1000—1100 °С без доступа воздуха. При коксовании углей получают кроме кокса коксовый газ, смолу и подсмоленные воды с аммиаком.

Кокс представляет собой прочные пористые куски различных размеров и имеет цвет от блестящего серебристого до матового темно-серого. Удельная теплота сгорания кокса около 30 000 кДж/кг; содержание влаги 2—4 %; минеральных соединений 7—13 %; серы 0,6—2,0 %; остальное углерод. Основная масса кокса выжигается

для доменной плавки, такой кокс называют доменным. Для плавки чугуна в вагранках применяют литейный кокс с пониженным содержанием серы (не более 1 %).

Дрова легко воспламеняются, в них почти нет серы. Дровами прогревают доменные и другие печи, разжигают вагранки. Кроме того, из дров выжигают древесный уголь и получают генераторный газ. Удельная теплота сгорания сухих дров различных пород почти одинакова и составляет около 20 000 кДж/кг.

Древесный уголь выжигают в печах при сухой перегонке без доступа воздуха. Для обугливания достаточно температура 400—450 °С. В древесном угле — серы 0,05—0,15 %, а негорючих соединений — 1—3 %; удельная теплота сгорания его — 34 000 кДж/кг.

Древесный уголь используют для нагрева кузнечных горнов и при цементации стали.

Мазутом называют остаток от перегонки нефти, составляющий 40—50 % от ее массы. Удельная теплота сгорания мазута очень высока (44 000—46 000 кДж/кг). Мазутом нагревают мартеновские, отражательные печи и печи термических цехов.

Природный газ состоит в основном (до 99,9 %) из углеводородов; низшая объемная теплота сгорания его составляет 33 000 кДж/м³, а в отдельных месторождениях достигает 65 000 кДж/м³. Большим преимуществом природных газов является отсутствие в них ядовитой окиси углерода.

Коксовый газ представляет собой смесь, содержащую водород (50—60 %), метан (20—34 %), оксид углерода (II) (4,5—4,7 %), оксид углерода (IV) (углекислый газ) (1,8—4,0 %), азот (5—10 %) и другие газы, а также водяной пар. При коксовании 1 т угля отходит обычно 300—320 м³ газа. Объемная теплота сгорания его достигает 19 000 кДж/м³. Коксовым газом нагревают мартеновские печи, на нем работают двигатели внутреннего сгорания.

Огнеупорные материалы. Огнеупорными называют материалы, применяемые для футеровки (защитной внутренней облицовки) металлургических печей, топок, магистралей горячего дутья, разливочных ковшей, химических аппаратов, ванн и др.

Важнейшие требования, предъявляемые к огнеупорным материалам, следующие: высокая температура размягчения, хорошая стойкость при резких перепадах температур и постоянство объема при этом, химическая стойкость в условиях эксплуатации.

Огнеупорные материалы изготовляют главным образом на основе минерального сырья и применяют в виде кирпичей, фасонных изделий и порошков. Кирпичи и фасонные изделия употребляют для кладки стен, пода и свода печей, а также для генераторов, дымовых труб, конвертеров, ковшей и т. п. Огнеупорными порошками набивают подины и откосы сталеплавильных печей, на них замешивают огнеупорные бетоны.

По химическим свойствам огнеупорные материалы делят на три группы: кислые, основные и нейтральные. Кислые огнеупоры состоят преимущественно из кремнезема SiO₂; они вступают в химическое

взаимодействие с основными огнеупорами и шлаками, но стойки к кислым шлакам. Основные огнеупоры, наоборот, состоят преимущественно из основных оксидов (обычно оксидов магния MgO и кальция CaO). Нейтральные огнеупоры почти не взаимодействуют ни с основными, ни с кислотными огнеупорами и шлаками.

Кислые огнеупоры. Динас (динасовый кирпич) содержит 93—96 % SiO_2 , 2—3 % CaO (связка), имеет огнеупорность (температуру размягчения под влиянием собственной массы) 1690—1730 °С. Кварцевый песок (93—97 % SiO_2) применяют для наварки и ремонта отдельных частей металлургических печей с кислой футеровкой.

Основные огнеупоры. Магнезит (магнезитовый кирпич и металлургический магнезитовый порошок) состоит из 91—94 % MgO , 1—2 % CaO , 2—3 % Fe_2O_3 , около 2 % SiO_2 , около 1 % Al_2O_3 . Огнеупорность магнезита выше 2000 °С, но под нагрузкой он размягчается при температуре 1500 °С. Магнезит применяют для футеровки подов и стен основных мартеновских и электрических сталеплавильных печей, а также печей цветной металлургии. Магнезитовым порошком набивают, наваривают и заправляют под и откосы в основных металлургических печах. Хромомagneзит и магнезитохромит содержат 30—70 % MgO и 10—30 % Cr_2O_3 . Они имеют примерно такие же свойства, как и магнезит, но отличаются от него лучшей стойкостью при перепадах температур. Магнезитохромит применяют для кладки сводов основных мартеновских и электрических сталеплавильных печей. Доломит в отличие от магнезита применяют обычно в виде порошка сырой (необожженной) породы, состоящей главным образом из $CaCO_3$ и $MgCO_3$. Такой сырой доломит обжигается при разогреве печи. Кирпичи из обожженного доломита формуют на связке из обезвоженной каменноугольной смолы (7—9 %) прессованием в гидравлических прессах, при этом получают смолодоломит. Огнеупорность доломита 1800—1900 °С.

Глиноземистые огнеупоры делятся на шамотные (менее 65 % SiO_2 и 30—45 % Al_2O_3) и высокоглиноземистые (Al_2O_3 более 45 %). Шамотные кирпичи и фасонные изделия — самые распространенные огнеупорные материалы. Огнеупорность их достигает 1770 °С, у них высокая стойкость к перепаду температур, достаточная устойчивость против кислых и основных шлаков при температуре до 1250—1350 °С; они дешевы. Недостаток их — сравнительно низкая температура размягчения под нагрузкой (1250—1400 °С). Шамотными кирпичами выкладывают шахты доменных печей, нагревательные печи, газогенераторы, вагранки, разливочные ковши и т. п. Высокоглиноземистые огнеупоры значительно дороже шамотных, но огнеупорность их выше (до 2000°). Они применяются для кладки ответственных частей металлургических печей, например насадок регенераторов мартеновских печей. Глиноземистые огнеупоры обладают слабокислыми и слабоосновными свойствами, поэтому по химическим свойствам их не принято относить к какой-либо из трех названных выше групп.

Нейтральные огнеупоры. К нейтральным относятся хромитовые и углеродистые огнеупоры. Хромитовые огнеупоры содержат не менее 25 % Cr_2O_3 и имеют огнеупорность около 1800 °С. Применяют их обычно для разделения слоев кислых и основных огнеупоров с целью предотвращения химического взаимодействия между ними. Углеродистые огнеупоры содержат до 90 % углерода и делятся на графитовые и угольные. Из графитовых огнеупоров изготовляют тигли для плавки различных металлов, а из угольных — отдельные части металлургических печей, например, лещады и стенки горна доменных печей. Углеродистые огнеупоры весьма огнестойки (выше 2000 °С), мало взаимодействуют со шлаками и сохраняют свой объем при работе. Применять их в сталеплавильных печах нельзя, так как они науглероживают сталь.

Шлаки. Шлаки образуются при выплавке металлов и, имея небольшую плотность (2—4 г/см³), всплывают над жидким металлом, изолируя его от печных газов. Они получаются из сплавленной пустой породы, флюсов, золы топлива и огнеупорной футеровки (по мере ее разрушения), из поглощенных газов и выделяющихся из металла соединений.

Состав шлаков, температура плавления, их подвижность (текучесть), химическая активность, теплопроводность во многом определяют успех плавки и выход металла.

Химический состав шлака должен отвечать природе металлургического процесса. Различают шлаки основные с преобладанием основных окислов и кислые с преобладанием окислов кислотных.

Флюсы. Флюсы облегчают шлакование при металлургических плавках, способствуют сплавлению пустой породы руды, образуя с ней, а также с золой топлива шлаки, плавящиеся при рассчитанной температуре; они связывают и обеспечивают перевод из металла в шлак вредных примесей. Флюсы бывают кислые, содержащие в избытке SiO_2 , основные, содержащие избыточные основные оксиды CaO , MgO , MnO , FeO и др., и нейтральные, содержащие глинозем, а также щелочные и щелочноземельные хлориды и фториды.

Чугун, сталь и железо. Чугун и сталь являются сплавами железа с углеродом, а также марганцем, кремнием, фосфором и серой. Легированные чугун и сталь могут содержать помимо названных еще и другие компоненты. Элементом, оказывающим наибольшее влияние на свойства черных металлов, является углерод, и в зависимости от его содержания эти металлы делят на сталь и чугун.

Чугуном называют сплав, содержащий более 2,14 % углерода; сталью — меньше 2,14 % углерода. Если в стали более 0,6 % С, то ее называют высокоуглеродистой, при содержании 0,25—0,6 % С — среднеуглеродистой, а если углерода менее 0,25 %, то низкоуглеродистой.

Очень чистое и сверхчистое железо в промышленности находит все большее применение, особенно в электротехнике, где исполь-

зуются его магнитные свойства, и при производстве особо качественных сплавов.

Техническое железо (мягкую сталь), отличающееся ковкостью и свариваемостью, раньше получали непосредственно из руд сыродутым способом в небольших древесноугольных плавильных горнах или домницах с кожаными мехами для дутья. В этих печах железо получалось в тестообразном состоянии, в виде спекшихся кусочков, называемых крицами. В дальнейшем по мере увеличения высоты домниц, усиления дутья и (вследствие этого) повышения температуры получили жидкий чугун.

Позднее выработали способы передела чугуна на сталь, поэтому сыродутый способ был постепенно оставлен и чугун стал основой сталеплавильной промышленности.

В настоящее время двухступенчатая схема (получение чугуна в доменной печи и его передел на сталь) является главной в металлургии и в обозримой перспективе по этой схеме будет выплавляться основная масса стали. Однако уже теперь существует одноступенчатая схема, при которой отпадает необходимость в дорогостоящем коксе, зарождается новое направление — прямое восстановление железа из руд (бескоксая металлургия). Основными направлениями развития народного хозяйства СССР на 1976—1980 годы предусмотрено строительство на базе руд Курской магнитной аномалии Оскольского электрометаллургического комбината по производству стали методом прямого восстановления железа.

Глава I

ПРОИЗВОДСТВО ЧУГУНА

§ 1. Исходные материалы для выплавки чугуна, подготовка их к плавке

Железные руды. Земная кора содержит около 5,1 % железа в составе различных минералов. Для получения чугуна используют красные, бурые и магнитные железняки (окислы) и железный шпат (карбонат).

В скоплениях красный железняк, или гематит Fe_2O_3 , сопровождают пустые породы, в состав которых входят преимущественно кварц SiO_2 и кальцит CaCO_3 , иногда глина $\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 2\text{SiO}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ и др. Гематитовые руды содержат железа в среднем 51—66 %, а чистый гематит — 70 % Fe; цвет руды от ярко- до темно-красного. Крупнейшими месторождениями красного железняка являются Криворожское, Белогорское и Лебединское (Курская магнитная аномалия); Атасуйское и Соколовско-Сарбайское — в Казахстане; Коршуневское — в Восточной Сибири.

Основной рудный минерал бурого железняка — лимонит — кристаллогидрат оксида железа $\text{Fe}_2\text{O}_3 \cdot n\text{H}_2\text{O}$; пустые породы того же состава, что и в красном железняке. Содержание железа колеблется от 55 до 30 % и ниже; цвет от коричнево-желтого до темно-бурого. Крупными месторождениями бурого железняка в СССР яв-

ляются Керченское, Лисановское и Аятское (в Казахстане), Липецкое и Тульское.

Рудный минерал магнитного железняка — магнетит — магнитный оксид железа $\text{FeO} \cdot \text{Fe}_2\text{O}_3$ (Fe_3O_4). В пустых породах присутствуют силикаты (полевые шпаты, граниты и др.), сульфиды, кальциты и др. Содержание железа в богатых магнетитовых рудах колеблется от 50 до 72 %. Цвет магнетита — черный. В СССР промышленные месторождения магнетитовых руд находятся на Урале (горы Качканар, Магнитная, Высокая, Благодать), в Сибири (Ангаро-Питский железорудный район) и в других районах.

Шпатовый железняк, или сидерит FeCO_3 , залегает мраморовидными скоплениями светло-серого и желтовато-белого цвета; руды содержат 30—42 % Fe. При обжиге сидерита отщепляется оксид углерода (IV) (углекислый газ CO_2) и руда становится микропористой, что обеспечивает ее восстановление при доменной плавке. В СССР шпатовые железняки залегают близ Златоуста, в Омутнинском районе Кировской области и в других районах.

Во многих месторождениях железные руды в составе своих минералов кроме железа содержат другие металлы (от долей процента до 1—2 %): хром, никель, ванадий, кобальт, титан, медь. Такие руды называют комплексными, а чугуны и стали, выплаваемые из них, — природно-легированными.

Железные руды содержат также марганец (иногда до 10—18 %), однако в большинстве руд содержание марганца ограничивается (до 1—2 %), что является недостаточным для выплавки передельного и даже литейного чугуна (см. с. 100), поэтому плавку ведут с добавками марганцевой руды.

Марганцевые руды. Из главных минералов этих руд назовем пиролюзит MnO_2 , манганит $\text{MnO}_2 \cdot \text{Mn}(\text{OH})_2$, псиломелан $m\text{MnO} \cdot \text{MnO}_2 \cdot n\text{H}_2\text{O}$. Марганцевые руды содержат 20—55 % Mn. Важнейшими месторождениями марганцевых руд в СССР являются Чистертское и Никопольское.

При выплавке доменных ферросплавов марганцевая руда является основной частью шихты.

Топливо. Основное топливо для доменных печей — каменнугольный кокс. В настоящее время для снижения расхода кокса и увеличения выплавки чугуна вдувают природный газ, мазут, угольную пыль.

Флюсы. Во всех железных рудах, а также и в золе от кокса содержится в избытке кремнезем и глинозем, поэтому в шихту в качестве флюсов добавляют известняк, а иногда доломит. Оба они способствуют шлакованию серы, вредной примеси в чугуне.

Подготовка руд к доменной плавке. Подготовка руд способствует ускорению плавки и снижает расход дорогостоящего кокса.

Дробление — измельчение кусковой руды разделяется на мелкое (крупность кусков и зерен 1—30 мм) и тонкое (1 мм и меньше), применяемое для последующего обогащения и агломерации, а также на среднее и крупное (крупность 30—100 мм), после которого руда идет непосредственно для плавки.

Промывка применяется для обогащения руд, содержащих песчаноглинистые породы; при промывке вода уносит легкие частицы пустой породы.

Обжиг руды производится для удаления влаги, углекислоты и частичного выжигания серы, в результате чего руда очищается и обогащается соединениями железа. Кроме того, обжиг немагнитного оксида железа Fe_2O_3 производят с целью перевода ее в магнитное соединение Fe_3O_4 , чтобы можно было производить магнитное обогащение.

Для магнитного обогащения используют аппараты, называемые магнитными сепараторами. Основной частью сепаратора являются электромагниты, создающие магнитное поле. При перемещении руды в таком поле происходит отделение немагнитных частиц. При этом магнитный оксид железа Fe_3O_4 притягивается электромагнитами.

Спекание (агломерация) производят для окускования мелкой и порошкообразной руды и колошниковой пыли; для спекания эти вещества смешивают с измельченным топливом.

Для получения офлюсованного агломератора в агломерационную шихту кроме руды и топлива добавляют измельченный известняк. Спекание осуществляют при $t = 1100\text{--}1200^\circ\text{C}$ на специальных агломерационных ленточных машинах, где топливо сгорает, в результате чего изменяется химический состав шихты: кальцит известняка при температуре около 900°C разлагается на оксид кальция CaO и оксид углерода (IV) (углекислый газ CO_2), сера выгорает, оксид железа (III) Fe_2O_3 частично восстанавливается до оксида железа (II) FeO , который с кремнеземом SiO_2 пустой породы образует силикат железа Fe_2SiO_2 . Этот силикат плавится и связывает другие частицы шихты, при этом и образуются пористые спеченные куски материала, называемого агломератом.

В десятой пятилетке развиваются экономичные способы обогащения и окомкования окисленных железных руд. К таким способам относится получение металлизированных окатышей, которые содержат 93—95 % железа. Их получают из измельченных железных руд при восстановлении оксидов железа оксидом углерода CO и водородом H_2 во вращающихся печах. Восстановители (CO и H_2) получают из природного газа путем паровой конверсии.

Загрузка в доменную печь кокса и офлюсованного агломерата или кокса, руды и флюса осуществляется отдельными порциями — **колошами**.

§ 2. Доменная печь и доменный чех

Доменная печь (рис. 2) является шахтной (вертикальной) печью, которую выкладывают в стальном корпусе шамотным кирпичом. У доменной печи различают (рис. 2, а): колошник, собственно шахту, распар, заплечики и горн. Через колошниковый затвор в доменную печь загружают шихту. Шахта имеет форму усеченного конуса, расширяющегося книзу, что способствует свободному опуска-